

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-228361

(P2000-228361A)

(43) 公開日 平成12年8月15日 (2000.8.15)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト (参考)

H 0 1 L 21/20
21/268
29/786
21/336

H 0 1 L 21/20
21/268
29/78

F
6 2 7 G

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2000-34509 (P2000-34509)

(62) 分割の表示 特願平8-336339の分割

(22) 出願日 平成8年12月2日 (1996.12.2)

(31) 優先権主張番号 特願平8-61893

(32) 優先日 平成8年2月23日 (1996.2.23)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-61894

(32) 優先日 平成8年2月23日 (1996.2.23)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72) 発明者 山崎 舜平

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 宮永 昭治

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

導体エネルギー研究所内

(72) 発明者 小山 潤

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

導体エネルギー研究所内

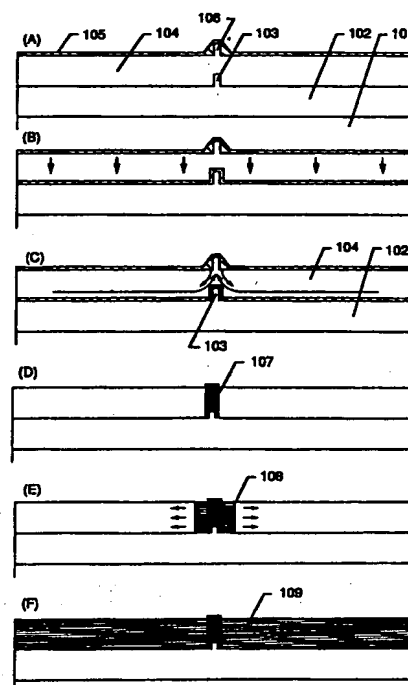
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 良好な特性を持つ半導体装置の作成方法を提供する。

【解決手段】 本発明は、絶縁表面上に酸化珪素膜を形成し、少なくとも一つの凹または凸パターンを前記酸化珪素膜をパターンニングして形成し、前記酸化珪素膜上に非晶質半導体膜を形成し、前記非晶質半導体膜の結晶化を助長する金属元素を前記非晶質半導体膜に接して配置し、加熱処理によって前記非晶質半導体膜を結晶化し、結晶性半導体膜とし、光を照射することによって前記結晶性半導体膜をモノドメイン領域へと変成することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】絶縁表面上に酸化珪素膜を形成し、少なくとも一つの凹または凸パターンを前記酸化珪素膜をパターンニングして形成し、前記酸化珪素膜上に非晶質半導体膜を形成し、前記非晶質半導体膜の結晶化を助長する金属元素を前記非晶質半導体膜に接して配置し、加熱処理によって前記非晶質半導体膜を結晶化し、結晶性半導体膜とし、光を照射することによって前記結晶性半導体膜をモノドメイン領域へと変成する半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本明細書で開示する発明は、絶縁表面を有する基体上に形成された、実質的に単結晶と見なせる領域（以下、モノドメイン領域と呼ぶ）を有する半導体薄膜およびその半導体薄膜を活性層とする半導体装置に関する。特に、結晶性珪素膜で活性層を構成した薄膜トランジスタに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、絶縁表面を有する基体上に形成された薄膜珪素半導体膜（厚さ数百～数千Å程度）を用いて薄膜トランジスタ（TFT）を構成する技術が注目されている。薄膜トランジスタはICや液晶表示装置のような電子デバイスに広く応用されてきている。

【0003】薄膜トランジスタの心臓部ともいうべき重要な部分はチャネル形成領域およびチャネル形成領域とソース／ドレイン領域とを接合するジャンクション部分である。即ち、活性層が最も薄膜トランジスタの性能に影響を与えると言える。

【0004】薄膜トランジスタの活性層を構成する半導体薄膜としては、プラズマCVD法や減圧熱CVD法により形成される非晶質珪素膜（アモルファスシリコン膜）が一般に利用されている。

【0005】現状においては、非晶質珪素膜を用いた薄膜トランジスタが実用化されているが、より高速動作を求められる場合には、結晶性を有した珪素薄膜（結晶性珪素膜と呼ぶ）を利用した薄膜トランジスタが必要とされる。

【0006】例えば、アクティブマトリクス型の液晶表示装置やパッシブ型の液晶表示装置の周辺回路には、画素領域に配置された画素TFTを駆動するための駆動回路や映像信号を取り扱ったり制御する回路、各種情報を記憶する記憶回路等が必要とされる。

【0007】さらに、これらの回路の中で、映像信号を取り扱ったり制御する回路や各種情報を記憶する記憶回路には、公知の単結晶ウエハを用いた集積回路に匹敵する性能が求められる。従って、基板上に形成される薄膜半導体を用いてこれら回路を集積化しようとする場合、単結晶に匹敵する結晶性を有した結晶性珪素膜を基

板上に形成する必要がある。

【0008】基体上に結晶性珪素膜を形成する方法としては、本出願人による特開平6-232059号公報、特開平6-244103号公報に記載された技術が公知である。この公報に記載されている技術は、珪素の結晶化を助長する金属元素を利用することにより、550℃、4時間程度の加熱処理によって結晶性の優れた結晶性珪素膜を形成するものである。

【0009】しかし、上記技術を薄膜トランジスタの活性層に活用したとしても各種演算回路やメモリー回路等を構成するための薄膜トランジスタとしては役不足の感がある。これは、その結晶性がいまだ不足しており、必要とする特性が得られないからである。

【0010】特に、単結晶に匹敵する結晶性を有した結晶性珪素膜には実質的に結晶粒界が存在しないことが必要条件となる。なぜならば、結晶粒界は結晶間を往来する電子の進行を妨害するエネルギー障壁となるからである。

【0011】ここで本発明者らは上記技術を用いた場合の結晶成長の過程を第1～第4のステップに分類して捉え、以下に示すようなモデルで考えた。説明は図3を用いて行うこととする。

【0012】図3（A）において301は基体表面にパッファ層として成膜された酸化珪素膜である。その上には非晶質珪素膜303が成膜されている。この時、酸化珪素膜上の凹または凸部302（図は凸部のみを記載する）は酸化珪素膜の表面ラフネスやゴミにより形成されたものである。

【0013】そして、非晶質珪素膜303の表面に結晶化を助長する金属元素を含む溶液を滴下し、スピンコート法による塗布を行う。すると、図3（A）に示す様に非晶質珪素膜303の表面にニッケル層304を保持した状態を得る。

【0014】この状態で500～700℃の温度範囲における加熱処理を施して非晶質珪素膜303の結晶化を行う。ただし、ガラス基板を用いる場合は耐熱性を考慮して650℃以下とするのが望ましい。

【0015】すると、まず図3（B）中の矢印が示す様に金属元素が非晶質珪素膜303中を等方的に内部拡散して酸化珪素膜301との界面に到達する。これが、第1のステップである。

【0016】すると、金属元素は酸化珪素膜301と非晶質珪素膜303との界面をマイグレーションして凹または凸部302へと偏析する。これが第2のステップである。これは、金属元素がエネルギー的に安定なサイトを求めるからであり、この場合、凹または凸部302が偏析サイトとなったわけである。（図3（C））

【0017】この時、偏析サイトとなった凹または凸部302は金属元素が高濃度に存在するためここに結晶核が発生する。本発明者らの研究では金属元素がニッケル

の場合、その濃度が $1 \times 10^{20} \text{atoms/cm}^3$ 以上となると結晶核となりうる。

【0018】そして、この結晶核を起点として結晶成長が始まるのであるが、まず最初に珪素膜面に対して概略垂直な方向に結晶化が進行する。これが第3のステップである。(図3(D))

【0019】この珪素膜面に対して概略垂直な方向に結晶化が進行した領域(以下、縦成長領域と呼ぶ)305は高濃度に濃縮された金属元素を押し上げつつ結晶化が進行するため、凹または凸部302の上方に位置する非晶質珪素膜303の表面にも高濃度の金属元素が濃縮される。その結果、縦成長領域305は他の領域と比較して金属元素の濃度が高い領域となる。

【0020】次に、非晶質珪素膜303が縦成長領域305と接した界面306を起点に基体と概略平行な方向(図3(E)において矢印で示す方向)に結晶成長が始まる。これが第4のステップである。この結晶307は結晶幅が非晶質珪素膜303の膜厚にほぼ等しい柱状または針状の結晶である。(図3(E))

【0021】この結晶307は基体と概略平行な方向に進むため、やがて向かい合う別の結晶とぶつかり合って成長が止まる。すると、図3(F)に示す様にぶつかり合った境界が結晶粒界308となる。また、こうして形成される結晶領域(以下、横成長領域と呼ぶ)309は比較的結晶性の揃った領域となる。

【0022】この様に、従来の結晶化形態では偏析サイトが不規則に、かつ、無数に形成されてしまうため、結晶核の密度が高く、個々の結晶粒が互いの成長を阻害し合ってしまう。従って、結晶粒径は小さいものとならざるを得ない。

【0023】即ち、例えば薄膜トランジスタの活性層を上記技術により形成した結晶性珪素膜上に形成しても、必ずその内部に結晶粒界を含んでしまい、単結晶に匹敵する結晶性を実現することは不可能なのが現状である。

【0024】結晶核の発生密度を少なくすればその分結晶粒径を確保することができるが、結晶核は金属元素の偏析サイトがどこに存在するかでその位置が決まるものであり、従来技術のままでは偏析サイトとなる様なサイト(例えば、図3(A)に示すような凹または凸部302)が不規則に形成されるが故にその位置を制御することは不可能である。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】本明細書で開示する発明は、表面に絶縁膜を有する基体上に単結晶に匹敵する結晶性を有するモノドメイン領域を形成することを課題とする。そして、そのモノドメイン領域でもって活性層を構成した半導体装置を得ることを課題とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】本明細書で開示する発明の構成は、表面に絶縁膜を有する基体上に形成された半

導体薄膜であって、前記半導体薄膜はレーザー光または該レーザー光と同等のエネルギーを持つ強光の照射により結晶性を改善された実質的に単結晶と見なせるモノドメイン領域を有し、前記モノドメイン領域は前記基体と概略平行な柱状または針状結晶が複数集合して形成されており、前記半導体薄膜の下面に接する前記絶縁膜には意図的に形成された凹または凸パターンが設けられていることを特徴とする。

【0027】また、他の発明の構成となる半導体装置は、前記モノドメイン領域のみを活性層として利用するものである。このモノドメイン領域の内部には実質的に結晶粒界が存在しないという特徴がある。

【0028】また、他の発明の構成は、絶縁表面を有する基体上にスパッタ法により酸化珪素膜を成膜する工程と、前記酸化珪素膜を所望の形状にパターニングして意図的に凹または凸パターンを設ける工程と、前記酸化珪素膜上に減圧熱CVD法により非晶質珪素膜を成膜する工程と、前記非晶質珪素膜に対して結晶化を助長する金属元素を保持せしめる工程と、加熱処理により前記非晶質珪素膜を結晶性珪素膜に変成せしめる工程と、前記結晶性珪素膜に対してレーザー光または該レーザー光と同等のエネルギーを持つ強光を照射する工程と、を少なくとも有し、前記レーザー光または該レーザー光と同等のエネルギーを持つ強光を照射する工程により前記結晶性珪素膜をモノドメイン領域に変成せしめることを特徴とする。また、これらの工程を経て形成されるモノドメイン領域で活性層を構成することを特徴とする。

【0029】本発明者らは本発明により得られる結晶領域を実質的に単結晶と見なせる領域即ち、モノドメイン領域と定義している。モノドメイン領域の定義は、その領域内に実質的に結晶粒界が存在せず、転移や積層欠陥等に起因する結晶欠陥が殆ど存在しないことである。

【0030】なお、実質的に結晶粒界が存在しないとは、結晶粒界が存在したとしても電氣的に不活性であることを意味している。その様な電氣的に不活性な結晶粒界として、{111}双晶粒界、{111}積層欠陥、{221}双晶粒界、{221}Twist 双晶粒界などが報告されている(R. Simokawa and Y. Hayashi: Jpn. J. Appl. Phys. 27 (1987) pp. 751~758)。

【0031】本発明者らは、モノドメイン領域に含まれる結晶粒界がこれらの電氣的に不活性な結晶粒界となっている可能性が高いと推測している。即ち、見た目には結晶粒界として存在しても、電氣的にはキャリアの移動を阻害する様なことのない不活性な領域であると考えられる。

【0032】本発明者らはまず結晶粒界を減らすために結晶粒径を大きくする手段を検討した。その結果、従来制御することが出来なかった結晶核を制御する手段を発明するに至った。

【0033】その手段とは、まず非晶質珪素膜の下面に

接する絶縁膜の表面状態を極めて滑らかなものとする。そのため、本発明では人工石英ターゲットを用いたスパッタ法により成膜した酸化珪素膜をバッファ層として非晶質珪素膜の下に設ける（参考資料として人工石英ターゲットの成分表を図14に示す）。こうして成膜された酸化珪素膜は非常に緻密、かつ、平滑であり、従来のような偏析サイトとなる凹または凸部が殆どないものとなる。

【0034】次に、この酸化珪素膜にパターンニングを施して意図的に凹または凸パターンを形成することである。即ち、意図的に結晶化を助長する金属元素の偏析サイトを形成することで、結晶核の発生位置を制御することが可能となる。

【0035】従って、素子設計の段階で所望の位置に所望の大きさの結晶を形成することを設計できるという大きな利点を有することになる。このことは工業上、非常に有益である。

【0036】また、非晶質珪素膜の成膜方法として減圧熱CVD法を用いることも本発明の特徴の一つである。減圧熱CVD法により成膜した非晶質珪素膜はプラズマCVD法により成膜した非晶質珪素膜に比べて水素含有量が少なく、膜質が緻密であるため自然核発生が少ないという特徴を有している。

【0037】自然核発生が多いと結晶核を制御するという目的にとって大きな障害となるため、自然核発生が少ないことは極めて都合が良い。

【0038】次に、以上の様にして形成された結晶粒径の大きな結晶を単結晶化（正確にはモノドメイン領域化）する手段を検討した。その結果、レーザー光またはそれと同等のエネルギーを持つ強光を結晶に対して照射することによりモノドメイン領域を形成できることが判明した。

【0039】以上のような本発明の構成について、以下に記載する実施例でもって詳細な説明を行うこととする。

【0040】

【実施例】【実施例1】本実施例では、本発明において最も重要な概念であるモノドメイン領域の形成過程を説明する。図1(A)～図1(F)は絶縁表面を有する基体上に形成された珪素膜の断面図である。

【0041】図1(A)において101はガラス基板である。他にも、石英基板やシリコン基板などを用いても良い。102はスパッタ法により成膜された酸化珪素膜である。この時、スパッタに用いるターゲットは人工石英ターゲットを用いる。

【0042】人工石英ターゲットを用いて成膜した酸化珪素膜102は表面が極めて平坦であり、滑らかな状態となる。例えば、その表面凹凸の高さは30Å以内、表面凹凸の幅は100Å以上であり、AFM(Atomic Force Microscopy)による観察を行っても凹凸として認識

するには困難なレベルとなる。

【0043】酸化珪素膜102を成膜したらパターンニングを施して凹または凸パターン103を意図的に形成する。本実施例では、正方形の微細な島状パターンを形成し、意図的に凸部となるようにパターンニングした場合についてのみを記載するが、凹部となるように形成しても同様の効果が得られる。この凹または凸パターン103は後に成膜する非晶質珪素膜の膜厚の半分程度の高さでよい。

10 【0044】所望の形状にパターンニングを施したら非晶質珪素膜104をプラズマCVD法、スパッタ法または減圧熱CVD法により100～750Å（好ましくは150～450Å）の厚さに成膜する。減圧熱CVD法による場合、成膜ガスとしてはジシラン(Si_2H_6)やトリシラン(Si_3H_8)等を用いれば良い。

【0045】非晶質珪素膜104の膜厚を上記膜厚としておくことで後のレーザー光照射による単結晶化工程が効果的に行われるだけでなく、結晶化により得られる結晶性珪素膜を半導体装置の活性層とした場合に、オフ電流の低い半導体装置を作製することができる。

20 【0046】なお、減圧熱CVD法により成膜した非晶質珪素膜は後の結晶化の際に自然核発生率が小さい。自然核発生率とは、非晶質珪素膜がニッケル等の結晶化を助長する金属元素の影響を受けずに熱エネルギーにより核発生する割合である。

【0047】この事は個々の結晶が相互干渉する（ぶつかり合って成長が止まる）割合が減るため、後の結晶化工程において個々の結晶粒径を大きくする上で望ましい。

30 【0048】また、非晶質珪素膜104を成膜する際にはバッファ層である酸化珪素膜102の表面の清浄度に注意が必要である。従来例で述べたようにゴミなどがあると、そこが結晶化を助長する金属元素の偏析サイトとなって核発生の起点となってしまう。

【0049】非晶質珪素膜104を成膜したら、酸素雰囲気中においてUV光を照射し、非晶質珪素膜104の表面にごく薄い酸化膜（図示せず）を形成する。この酸化膜は、後に金属元素を導入する際の溶液塗布工程で溶液の濡れ性を改善するためのものである。

40 【0050】次に、所定の濃度で結晶化を助長する金属元素を含有した溶液を非晶質珪素膜104の表面に滴下して図示しない水膜を形成する。この金属元素としては、Fe、Co、Ni、Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt、Cu、Auから選ばれた一種または複数種類のものを用いることができるが、発明者らの研究によるとNi（ニッケル）が最も顕著な効果を現した。

50 【0051】なお、後の加熱工程における不純物の残留を考慮すると、上記溶液としては硝酸ニッケル塩溶液を用いるのが好ましい。酢酸ニッケル塩溶液を用いることも出来るが、酢酸ニッケル塩溶液は炭素を含んでおり、

これが後の加熱工程において炭化して膜中に残留することが懸念されるからである。

【0052】図1(A)の状態において、スピナーを用いてスピコートを行い、非晶質珪素膜104上において、図示しない酸化膜を介してニッケル層105が接して保持された状態とする。

【0053】この時、凹または凸パターン103の上方の非晶質珪素膜104はその凹または凸パターン103の形状に沿って凹または凸部106が形成されている。そのため、スピコートの際に凹または凸部106の周辺は表面張力により局部的にニッケルが高濃度に存在する領域となりやすく、後の結晶化の際に第4のステップによる結晶化(基体に対して概略平行な方向への結晶化)が容易に進むという効果もある。

【0054】なお、本実施例では非晶質珪素膜104上に上記溶液塗布工程を行ったが、非晶質珪素膜104の成膜前にバッファ層である酸化珪素膜102上に行っても同様の効果が得られる。また、酸化珪素膜102と非晶質珪素膜104の両表面に対して溶液塗布を行っても構わない。

【0055】図1(A)の状態を得たら、不活性雰囲気中において450℃、1時間程度の水素出しを行った後、500~700℃、代表的には550~600℃の温度で4~8時間の加熱処理を加えて非晶質珪素膜104の結晶化を行う。ただし、ガラス基板上に形成する場合はガラスの耐熱性を考慮して650℃以下とするのが望ましい。この結晶化は以下ようにして進行する。

【0056】まず第1のステップとして、ニッケルは加熱されることにより活性化して非晶質珪素膜104の内部を矢印が示す様に等方的に拡散する。(図1(B))

【0057】次に、第2のステップとして、ニッケルは酸化珪素膜102と非晶質珪素膜104との界面においてマイグレーションして凹または凸パターン103へと偏析する。即ち、凹または凸パターン103が意図的に形成された偏析サイトとして機能することになる。(図1(C))

【0058】次に、偏析サイトとなった凹または凸パターン103のニッケル濃度が約 1×10^{20} atoms/cm³以上となると、そこに結晶核が発生し、珪素膜面に対して概略垂直な方向に結晶化が進行する。この第3のステップで形成される縦成長領域107は高濃度にニッケルを含む領域となる。(図1(D))

【0059】そして、第4のステップとして、上記縦成長領域107を起点として珪素膜面に対して概略平行な方向の結晶成長が進行する。こうして形成される横成長領域108は柱状または針状結晶が比較的方向を揃えた状態で複数集合して形成されており、縦成長領域107よりも結晶性の面では優れている。

【0060】この時、偏析サイトを意図的に制御して形成してあるため、他の結晶粒の影響を受けずに結晶粒径

を拡大成長させることが可能である。即ち、偏析サイトの形成位置を適当に設計すれば、所望の位置に所望の大きさの結晶を形成することが可能となる。

【0061】ただし、結晶粒径をどこまで大きくできるかは加熱処理の温度と時間とで決まるので、製造コスト等との兼ね合いで適宜決定すれば良い。また、後の単結晶化工程においても結晶成長が進行しうることを考慮しなければならない。

【0062】以上の様にして、図1(F)に示すような結晶性珪素膜109が得られる。ここで、留意すべきなのは本発明が根本的に公知のグラフォエビタキシー技術とは異なる点である。

【0063】グラフォエビタキシー技術は下地膜の表面形状に規則性を持たせ、非晶質珪素膜を結晶化する際、その最も安定な面が出る性質を利用して結晶性珪素膜の配向性を揃えるものである。

【0064】本発明は、下地膜の表面形状を変えることでその表面エネルギーを変化させ、結晶化を助長する金属元素が偏析しやすい領域とすることに特徴がある。従って、表面形状を変える理由が結晶核の形成にある点でグラフォエビタキシー技術とは異なる技術である。

【0065】ここで、結晶性珪素膜109を上面から見た図を図2(A)に示す。図2(A)において、201は第3のステップで形成された縦成長領域(図1(D)において107で示される領域)である。本実施例では、正方形の微細な島状パターンを形成しているため、図のような形状となる。

【0066】また、202で示されるのは第4のステップで形成された横成長領域(図1(F)において109で示される領域)である。この横成長領域202は中央の縦成長領域201を核として成長するものであり、本実施例では縦成長領域201を点として捉えることができるため、図2(A)に示すような概略六角形の形状となる。

【0067】この理由として本発明者らは次のように考える。珪素膜の結晶形態に関して、一般的に(111)面で囲まれた核を結晶成長させると結晶粒の形状が六角形となることが知られている。

【0068】また、本実施例では結晶化を助長する金属元素としてニッケルを用いているが、結晶化の際にニッケルシリサイドが柱状または針状結晶の先端部や側面に形成されていることが本発明者らによって示されている。

【0069】このニッケルシリサイドの安定面は(111)面であることが知られており、それを考慮すると結晶核となる縦成長領域301を囲む面はニッケルシリサイドの安定面である(111)面が支配的であると考えられる。

【0070】従って、第4のステップで結晶核となる縦成長領域201を点として捉えたと、そこを起点として

結晶成長した横成長領域 202 が概略六角形となるのは自明の理であると言える。

【0071】以上のようにして形成された横成長領域 202 は図 2 (A) に示す様に A~F の 6 つの部分に分割される。この時、A~F はそれぞれが一つの結晶粒であるかのように見える。これは、A~F が互いにぶつかり合う領域にスリップ等の欠陥が発生し、結晶粒界となるからである。

【0072】この A~F の領域内の一部分を拡大した簡略図を図 2 (B) に示す。図 2 (B) に示す様に、微視的に見ると A~F の領域内は柱状または針状の結晶が複数集合して形成されており、これが密集しているため巨視的には図 2 (A) の様に一つの結晶粒のように見えるのである。

【0073】この柱状または針状の結晶は各々その内部に結晶粒界を含まない実質的に単結晶と見なせるモノドメインである。

【0074】また、個々の結晶はその内部からニッケル等の不純物元素を排除しつつ成長するため、結晶表面には金属シリサイドが形成されており、図 2 (B) の 203 で示される様な結晶粒界には金属元素、即ちニッケルが偏析している。

【0075】従って、図 2 (B) の状態ではモノドメインが複数集合しただけであり、結晶性は比較的良好ものの、A~F の領域のそれぞれが一つのモノドメイン領域となっているわけではない。

【0076】本発明を実現するにはこの横成長領域 202 の結晶性を改善する工程が必要となる。本明細書ではこの工程を特に単結晶化工程と呼ぶこととする。

【0077】本発明における単結晶化工程とは、具体的には得られた結晶性珪素膜に対してレーザー光またはそれと同等のエネルギーを持つ強光を照射するものである。

【0078】まず使用するレーザー光としては紫外領域のエキシマレーザーを使用することが望ましい。具体的には、KrF エキシマレーザー（波長 248 nm）や XeCl エキシマレーザー（波長 308 nm）等を用いることができる。また、レーザー光ではなく、紫外線ランプを用いた強光を照射しても同様の効果を得ることが可能である。

【0079】レーザー光を照射された結晶性珪素膜の被照射面は局部的に高温に加熱され、珪素膜は瞬間的な熔融状態となる。しかし、実際には図 2 (B) に示す様な柱状または針状結晶の粒界部分 203 に偏析する金属シリサイドが優先的に熔融し、柱状または針状結晶は容易には熔融しない。

【0080】即ち、図 2 (B) に示すような構成でなる横成長領域にレーザー光を照射すると、結晶粒界 203 が瞬間的ではあるが優先的に熔融して再結晶化する。なお、図 2 (C) において 204 で示される破線は、図 2

(B) における結晶粒界 203 が一時的に解離してその後再結合した接合界面である。

【0081】その時、結晶粒界 203 近傍のシリコン格子は再配列してシリコン同士が整合性良く再結合する。従って、図 2 (B) で示すように柱状または針状結晶が複数集合して形成されていた A~F で示される個々の領域内は、図 2 (C) に示すような実質的に結晶粒界が存在しない。

【0082】また、さらに針状または柱状結晶の内部に内在していた転位や積層欠陥といった結晶欠陥はほぼ消滅してしまうので元々柱状または針状結晶であった部分の結晶性も著しく改善されたものとなる。

【0083】この時、A~F で示される個々の領域はシリコン格子の再配列により体積膨張が生じる。その結果、図 2 (A) において A~F の領域がぶつかり合う結晶粒界（即ち、モノドメイン領域の外縁部）では珪素膜の隆起が観測される。この珪素膜の隆起は、上記レーザー照射処理を行う場合に見られる特徴の一つである。

【0084】このような結晶粒界に見られる珪素膜の隆起が発生するような時、結晶粒内の結晶性は良好なものとなっていることが経験的に判っているが、その理由は現状において定かではない。

【0085】また、この珪素膜の隆起は、例えば非晶質珪素膜の膜厚が 500 Å の場合、その高さが 500 Å 程度となることが SEM 観察などから判っている。

【0086】以上の過程を経て形成される結晶性珪素膜は著しく結晶性が改善されており、単結晶に匹敵する結晶性を有したモノドメイン領域となっている。

【0087】本発明の構成の一つは上記のようなモノドメイン領域のみを利用して薄膜トランジスタに代表される半導体装置の活性層を構成するものである。

【0088】図 7 に示すのは、アクティブマトリクス型液晶表示装置を作製するにあたって絶縁表面を有する基体 21 上にマトリクス状に配置された活性層である。

【0089】なお、22 の破線で示される領域が縦成長領域の存在した場所である。また、23 は横成長領域が互いにぶつかり合って形成された結晶粒界が存在した場所である。活性層を形成した後では確認できないため点線で示すことにする。

【0090】図 7 に示す様に、薄膜トランジスタの活性層 24 は縦成長領域および結晶粒界を含まないようにマトリクス状に形成される。

【0091】図 7 は局部的に見た図であるが、基体 21 上に形成される全ての活性層について同様のことが言える。即ち、結晶粒界を含まないモノドメイン領域のみを利用して数百万もの薄膜トランジスタの活性層を構成するのである。

【0092】〔実施例 2〕本実施例では、実施例 1 のレーザー光の照射を同等のエネルギーを持つ強光でもって行う場合の例である。この技術としては RTA（ラピッ

ド・サーマル・アニール)が公知である。

【0093】RTAとは、被処理体に対して赤外光や紫外光等の強光をランプ等により照射する方法である。この特徴として、昇温速度および降温速度が速く、処理時間が数秒〜数十秒と短いため、実質的に最表面の薄膜のみを加熱できることである。即ち、例えばガラス基板上の薄膜のみを1000℃程度の極めて高温でアニールすることが可能である。

【0094】また、処理時間が短いことは製造工程においてスループットを大幅に向上させることを意味しており、生産性の面からも非常に有効な手段であると言える。

【0095】〔実施例3〕本実施例は、実施例1に示す工程で得られたモノドメイン領域を用いて薄膜トランジスタの活性層を構成する例を示す。なお、本実施例ではトップゲイト型を例にするがボトムゲイト型に適用することも容易である。

【0096】まず、図4(A)に示す様に、実施例1に示した工程に従ってモノドメイン領域を含む半導体薄膜を形成し、パターニングによってモノドメイン領域のみで構成される活性層403を形成する。なお、401は実施例1で説明したようにガラス基板であり、402は酸化珪素膜である。

【0097】次に、ゲイト絶縁膜として機能する酸化珪素膜404を1500Åの厚さにプラズマCVD法で成膜する。酸化窒化珪素膜や窒化珪素膜であっても構わない。

【0098】次にゲイト電極を構成するためのアルミニウム膜405を5000Åの厚さにスパッタ法でもって成膜する。このアルミニウム膜中には、スカンジウムを0.2重量%含有させる。なお、アルミニウム以外にタンタル、モリブデン等の他の金属を用いても良い。こうして図4(A)に示す状態を得る。

【0099】アルミニウム膜405を成膜したら、その表面に図示しない極薄い陽極酸化膜を形成する。この陽極酸化膜は、3%の酒石酸を含んだエチレングリコール溶液をアンモニア水で中和したものを電解溶液として行う。即ち、この電解溶液中において、アルミニウム膜405を陽極、白金を陰極として陽極酸化を行う。

【0100】この工程で形成される陽極酸化膜は緻密な膜質を有し、後に形成されるレジストマスクとの密着性を向上させるために機能する。なお、この図示しない陽極酸化膜の膜厚は100Å程度とする。また膜厚は印加電圧で制御できる。

【0101】次にアルミニウム膜405をパターニングし、ゲイト電極の基となる島状のアルミニウム膜のパターン406を形成する。なおこの際利用したレジストマスク(図示せず)はそのまま残存させておく。(図4(B))

【0102】図4(B)に示す状態を得たら、再びアルミニウム膜のパターン406を陽極とした陽極酸化を行

う。ここでは、電解溶液として3%のシュウ酸水溶液を用いる。この陽極酸化工程においては、図示しないレジストマスクが存在するために陽極酸化がアルミニウムのパターン406の側面のみにおいて進行する。従って、図4(C)の407で示されるように陽極酸化膜が形成される。

【0103】またこの工程で形成される陽極酸化膜407は、多孔質状を有しており、その成長距離も数μmまで行わせることができる。

【0104】上記の多孔質状の陽極酸化膜407の膜厚は7000Åとする。またこの陽極酸化膜407の膜厚は陽極酸化時間によって制御することができる。

【0105】図4(C)に示す多孔質状の陽極酸化膜407を形成したら、図示しないレジストマスクを取り除く。そして、再度の陽極酸化を行うことにより、緻密な陽極酸化膜408を形成する。この陽極酸化工程は、前述の緻密な陽極酸化膜を形成したのと同じ条件で行う。

【0106】ただし、形成する膜厚を800Åとする。この工程においては、多孔質状の陽極酸化膜407の内部に電解溶液が浸入するために図4(C)に示すように陽極酸化膜408が形成される。

【0107】この陽極酸化膜の膜厚を1500Å以上というように厚くすると、後の不純物イオンの注入工程において、オフセットゲイト領域を形成することができ

る。

【0108】この緻密な陽極酸化膜408は、後の工程においてゲイト電極409の表面にヒロックが発生することを抑制するために機能する。

【0109】緻密な陽極酸化膜408まで形成したら、この状態においてソース/ドレイン領域を形成するための不純物イオンの注入を行う。ここではNチャネル型の薄膜トランジスタを作製するためにPイオンの注入を行う。

【0110】この工程において、高濃度に不純物が添加されたソース領域410とドレイン領域411が形成される。(図4(C))

【0111】次に、酢酸とリン酸と硝酸とを混合した混酸を用いて、多孔質状の陽極酸化膜407を選択的に除去した後に再度Pイオンのイオン注入を行なう。このイオン注入は、先のソース/ドレイン領域を形成する際よりも低ドーズ量でもって行なわれる。

【0112】すると、ソース領域410、ドレイン領域411と比較して不純物濃度の低い、低濃度不純物領域412、413が形成される。そして414の領域が自己整合的にチャネル形成領域として形成される。(図4(D))

【0113】上記の不純物イオンの注入工程の後、レーザー光または赤外光または紫外光の照射を行うことによって、イオンの注入が行われた領域のアニールを行う。

【0114】このようにして、ソース領域410、低濃

度不純物領域 412、チャネル形成領域 414、低濃度不純物領域 413、ドレイン領域 411 を形成する。ここで、低濃度不純物領域 413 が通常 LDD (ライトドープドレイン領域) と称される領域である。

【0115】ここでプラズマ水素化処理を 300~350℃ の温度範囲で 0.5~1 時間行くと効果的である。この工程により活性層 303 中には 5 原子% 以下 ($1 \times 10^{21} \text{atoms/cm}^3$ 以下)、 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{21} \text{atom/s/cm}^3$ 以下の水素が添加される。

【0116】この水素は活性であるため活性層 403 中の珪素の不對結合手または活性層/ゲイト絶縁膜界面の準位を中和して除去することができる。

【0117】こうして図 4 (D) に示す状態が得られたら、次に層間絶縁膜 415 を成膜する。層間絶縁膜 415 は、酸化珪素膜、または窒化珪素膜、または酸化窒化珪素膜、または樹脂膜、またはそれらの膜の積層膜でもって構成される。窒化珪素膜を用いると、前工程で添加した水素がデバイス外部へ再放出するのを防ぐことができるので好ましい。

【0118】そしてコンタクトホール形成を行い、ソース電極 416 とドレイン電極 417 とを形成する。アクティブマトリクス型液晶表示装置において画素 TFT を作製する場合、ゲイト電極 409 からの取り出し電極は必要ないが、周辺駆動回路に用いる回路 TFT の場合、ゲイト電極 409 からの取り出し電極も同時に形成する必要がある。

【0119】さらに 350℃ の水素雰囲気中において加熱処理を行うことにより、素子全体の水素化を行い、図 4 (E) に示す薄膜トランジスタを完成させる。

【0120】このようにして形成された薄膜トランジスタは、活性層がモノドメイン領域で構成されているため、高速動作にも対応できる良好な電界効果移動度を示す。また、チャネル領域やドレイン接合部に結晶粒界およびニッケル化合物等の偏析がないため、信頼性に優れた薄膜トランジスタを作製することが出来る。

【0121】〔実施例 4〕シリコン基板上に酸化珪素膜を成膜してその上に単結晶を形成する構造、いわゆる SOI 構造が近年注目されている。SOI 構造に関する研究は低消費電力化のブレイクスルーとしてその発達が目覚ましい。

【0122】本発明によるモノドメイン領域は実質的に単結晶に匹敵する結晶性を有するものであるから、SOI 技術に応用することは容易である。本実施例では、SOI 基板に残された問題と本発明とを対比させる。

【0123】SOI 技術に伴う問題点を図 5 にまとめる。図 5 に示すように珪素膜中の界面準位や固定電荷のような結晶性に関するものや、金属汚染やボロン濃度といった外的なものなどがある。

【0124】本発明では、結晶性珪素膜に対してレーザー光またはそれと同等のエネルギーを持つ強光を照射す

ることにより、結晶性の改善と結晶同士の再結合 (単結晶化) を行う。

【0125】このレーザーアニールによる効果としては、パイプ密度、界面準位、固定電荷、貫通転移など結晶性に悪影響を与える因子を除去または充分減少できる。

【0126】さらに、図 5 中の析出物はシリサイド系物質であればレーザー光を照射した際に容易に溶解して消失してしまう。また、酸化物系物質であればレーザー光の照射による局所的な温度上昇により酸素が再び脱離、拡散して酸化物が消滅することも期待できる。

【0127】〔実施例 5〕本実施例では、実施例 1 においてバッファ層となる酸化珪素膜に形成する凹または凸パターンの形状を変えた例を示す。

【0128】実施例 1 では正方形の微細な島状パターンを形成したが、本実施例では直方形溝状パターンを形成する。なお、本実施例は凹部となるように形成する例であるが、凸部となるように形成しても同様の効果が得られる。

【0129】非晶質珪素膜の結晶化工程は実施例 1 に示す通りであるので、ここでの説明は省略する。ここでは、結晶化した際の結晶粒の形状を図 6 に示す。

【0130】図 6 に示す様に、601 で示される縦成長領域を結晶核として横成長領域 602 が形成される。実施例 1 と異なるのは、結晶核が点としてではなく、線として捉えられることである。

【0131】そのため、結晶粒の形状は図 6 に示す様に概略細長い六角形となる。この横成長領域 602 は A~H の 8 つの領域に分割される。ただし、縦成長領域 601 は横幅 X に比べて長さ Y が十分長いので、実際に石英基板上に形成すると A~C、F~H の領域は D、E の領域と比べて無視できるほど小さいものとなる。

【0132】凹または凸パターンをこのような形状とする利点は、D、E の領域をモノドメイン領域とすると実施例 1 よりも大きなモノドメイン領域を得られることである。即ち、その領域のみを用いて薄膜トランジスタの活性層を構成すれば、同一の結晶性を有した活性層を一つのモノドメイン領域内において複数形成することが可能である。

【0133】〔実施例 6〕本実施例は実施例 3 で示した TFT でもって CMOS 構造を形成する例である。図 8 ~ 図 10 に本実施例の作製工程を示す。なお、本発明により形成される結晶性珪素膜の応用範囲は広く、CMOS 構造を形成する方法は本実施例に限ったものではない。

【0134】まず実施例 1 に示す構成に従って、ガラス基板 31 上に酸化珪素膜 32 を成膜し、その上にモノドメイン領域を有した結晶性珪素膜を得る。そしてそれをパターンニングすることによりモノドメイン領域のみで構成された N チャネル型 TFT の活性層 33 と P チャネル

型TFTの活性層34を得る。

【0135】活性層33、34を形成したら、ゲイト絶縁膜として機能する酸化珪素膜35をプラズマCVD法で成膜する。厚さは500～2000Å、代表的には1000～1500Åとする。また、ゲイト絶縁膜としては酸化窒化珪素膜、窒化珪素膜等の他の絶縁膜を用いてもよい。

【0136】こうして図8(A)に示す状態を得る。ここでは説明を簡単にするために一組のNチャネル型の薄膜トランジスタとPチャネル型の薄膜トランジスタとを形成する例を示す。一般的には同一ガラス基板上に数百以上の単位でNチャネル型の薄膜トランジスタとPチャネル型の薄膜トランジスタとが形成される。

【0137】図8(A)に示す状態を得たら、図8(B)に示すように後にゲイト電極を構成することになるアルミニウム膜36を成膜する。

【0138】このアルミニウム膜はヒロックやウィスカの発生を抑制するためにスカンジウムを0.2wt重量%含有させる。アルミニウム膜の成膜方法はスパッタ法や電子ビーム蒸着法を用いて行う。

【0139】ヒロックやウィスカというのは、アルミニウムの異常成長に起因する刺状あるいは針状の突起物のことである。ヒロックやウィスカの存在は、隣合う配線間や上限間に離間した配線間においてショートやクロストークが発生する原因となる。

【0140】アルミニウム膜以外の材料としてはタンタル等の陽極酸化可能な金属を利用することができる。

【0141】アルミニウム膜36を成膜したら、電解溶液中においてアルミニウム膜36を陽極とした陽極酸化を行い、薄く緻密な陽極酸化膜37を成膜する。

【0142】ここでは、3%の酒石酸を含んだエチレングルコール溶液をアンモニアで中和したものを電解溶液として用いる。この陽極酸化方法を用いると緻密な膜質を有した陽極酸化膜を得ることができる。またその膜厚は印加電圧によって制御することができる。

【0143】ここでは陽極酸化膜37の厚さを100Å程度とする。この陽極酸化膜37は、後に形成されるレジストマスクとの密着性を向上させる役割を有している。このようにして図8(B)に示す状態を得る。

【0144】次にレジストマスク38と39を形成する。そしてこのレジストマスク38と39を利用してアルミニウム膜36とその表面の陽極酸化膜37をパターニングする。このようにして図8(C)に示す状態を得る。

【0145】次に3%のシュウ酸水溶液を電解溶液として、この溶液中で残存したアルミニウム膜でなるパターン40と41を陽極とした陽極酸化を行う。

【0146】この陽極酸化工程においては、陽極酸化が残存したアルミニウム膜40と41の側面において選択的に進行する。これは、アルミニウム膜40と41の上

面に緻密な陽極酸化膜とレジストマスク38と39が残存しているからである。

【0147】またこの陽極酸化においては、多孔質状(ポーラス状)の膜質を有した陽極酸化膜42、43が形成される。またこの多孔質状の陽極酸化膜42、43は数μm程度まで成長させることができる。

【0148】本実施例では、この陽極酸化の進行距離、即ち膜厚は7000Åとする。この陽極酸化の進行距離によって、後に低濃度不純物領域の長さが決まる。経験的にこの多孔質状の陽極酸化膜の成長距離は6000Å～8000Åとすることが望ましい。こうして図8(D)に示す状態を得る。

【0149】この状態においてゲイト電極1と2が画定する。図8(D)に示す状態を得たら、レジストマスク38と39を取り除く。

【0150】次に再び3%の酒石酸を含んだエチレングルコール溶液をアンモニアで中和したものを電解溶液として用いた陽極酸化を行う。この工程においては、電解溶液が多孔質状の陽極酸化膜42と43の中に侵入する。この結果、図8(E)の44と45で示される緻密な陽極酸化膜が形成される。

【0151】この緻密な陽極酸化膜44と45の厚さは500～4000Åとする。この膜厚の制御は電圧印加時間で行なう。なお、先に形成した緻密な陽極酸化膜37の残存部分はこの陽極酸化膜44と45と一体化してしまう。

【0152】次に、図8(E)に示す状態においてN型を付与する不純物としてP(リン)イオンを全面にドーピングする。

【0153】このドーピングは、 $0.2 \sim 5 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、好ましくは $1 \sim 2 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ という高いドーズ量で行う。ドーピング方法としてはプラズマドーピング法やイオンドーピング法を用いる。

【0154】この図8(E)に示す工程の結果、高濃度にPイオンが注入された領域46、47、48、49が形成される。

【0155】次にアルミ混酸を用いて多孔質状の陽極酸化膜42と43を除去する。この時、陽極酸化膜42、43の直下に位置した活性層領域は、イオン注入されていないため実質的に真性である。

【0156】次に、右側のPチャネル型の薄膜トランジスタを構成する素子を覆うようにしてレジストマスク50を形成する。こうして図9(A)に示す状態を得る。

【0157】図9(A)に示す状態を得たら、図9(B)に示すように再びPイオンの注入を行う。このPイオンの注入は、ドーズ量を $0.1 \sim 5 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、好ましくは $0.3 \sim 1 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ という低い値とする。

【0158】即ち、図9(B)で示す工程で行われるPイオンの注入はそのドーズ量を図8(E)に示す工程に

おいて行われたドーズ量に比較して低いものとする。

【0159】この工程の結果、52と54の領域がライトドープされた低濃度不純物領域となる。また、51と55の領域は、より高濃度にPイオンが注入された高濃度不純物領域となる。

【0160】この工程において、51の領域がNチャネル型の薄膜トランジスタのソース領域となる。そして52と54が低濃度不純物領域、55がドレイン領域となる。また、53で示される領域は実質的に真性なチャネル形成領域となる。なお、54で示される領域が一般にLDD（ライトドープドレイン）領域と称される領域である。

【0161】また、特に図示しないが陽極酸化膜44でイオン注入を遮られた領域がチャネル形成領域53と低濃度不純物領域52、54との間に存在する。この領域はオフセットゲイト領域と呼ばれ、陽極酸化膜44の膜厚分の距離を有する。

【0162】オフセットゲイト領域はイオン注入されず実質的に真性であるが、ゲイト電圧が印加されないためチャネルを形成せず、電界強度を緩和し、劣化を抑制する抵抗成分として機能する。

【0163】ただし、その距離（オフセットゲイト幅）が短い場合、実効的なオフセットゲイト領域として機能しない。また、どれだけの距離があれば有効に機能するか明確な境界はない。

【0164】次に、レジストマスク50を除去して、図9（C）に示すように左側のNチャネル型の薄膜トランジスタを覆うレジストマスク56を形成する。

【0165】次に、図9（C）に示す状態においてP型を付与する不純物としてB（ボロン）イオンの注入を行う。ここでは、Bイオンのドーズ量を $0.2 \sim 1.0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、好ましくは $1 \sim 2 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 程度とする。このドーズ量は図12（E）に示す工程におけるドーズ量と同程度とすることができる。

【0166】この工程により形成される57と61で示される領域は、N型およびP型を付与する不純物を含むが、実質的に取り出し電極とのコンタクトをとるためのパッド（以下、コンタクトパッドと呼ぶ）としての機能しか持たない。即ち、左側のNチャネル型の薄膜トランジスタと異なり、57、61の領域をソース／ドレイン領域と明確に区別する。

【0167】本発明者らはPチャネル型の薄膜トランジスタに関して、ソース領域を58で示される領域、ドレイン領域を60で示される領域として定義している。

【0168】これらの領域58、60は実質的に真性であった領域にBイオンのみを注入して形成されている。そのため、他のイオンが混在しないので不純物濃度の制御が容易なものとなり、整合性の良いPI接合を実現できる。また、イオン注入による結晶性の乱れも比較的小さなもので済む。

【0169】また、陽極酸化膜45を利用してオフセットゲイト領域を形成することもできるが、経験的にはPチャネル型の薄膜トランジスタは殆ど劣化しないため、オフセットゲイト領域を特に設ける必要はない。

【0170】こうしてPチャネル型の薄膜トランジスタのソース領域58とドレイン領域60が形成される。また59の領域は特に不純物が注入されずにチャネル形成領域となる。そして、前述のように57、61はそれぞれソース領域58、ドレイン領域60から電流を取り出すためのコンタクトパッドとなる。

【0171】次に、図9（C）に示す工程の終了後、レジストマスク56を取り除き、図9（D）に示す状態を得る。この状態で注入された不純物の活性化と不純物イオンが注入された領域のアニールを行うためにレーザー光の照射を行う。

【0172】この時、Nチャネル型の薄膜トランジスタのソース／ドレイン領域である51と55の組で示される領域と、Pチャネル型の薄膜トランジスタのソース／ドレイン領域である58と60の組で示される領域との結晶性の違いがそれ程大きくない状態でレーザー光の照射を行うことができる。

【0173】上記結晶性の違いがそれ程大きくないのは、図9（C）に示す工程においてPチャネル型の薄膜トランジスタのソース／ドレイン領域58、60がイオン注入の際に大きな損傷を受けていないからである。

【0174】従って、図9（D）に示す状態においてレーザー光の照射を行い、2つの薄膜トランジスタのソース／ドレイン領域のアニールを行う場合、そのアニール効果違いを是正することができる。即ち、得られるNおよびPチャネル型の薄膜トランジスタの特性の違いを是正することができる。

【0175】図9（D）に示す状態を得たら、図10（A）に示すように層間絶縁膜62を4000Åの厚さに成膜する。層間絶縁膜62は酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜、窒化珪素膜のいずれでも良く、多層構造としても良い。これら珪化膜の成膜方法は、プラズマCVD法や熱CVD法を用いればよい。

【0176】次にコンタクトホールを形成を行い、Nチャネル型の薄膜トランジスタ（NTFT）のソース電極63とドレイン電極64を形成する。同時にPチャネル型の薄膜トランジスタ（PTFT）のソース電極65とドレイン電極66を形成する。（図10（B））

【0177】ここでNチャネル型の薄膜トランジスタのドレイン電極64とPチャネル型の薄膜トランジスタのドレイン電極66とを接続するようにパターニングを行い、さらに2つのTFTのゲイト電極同士を接続すればCMOS構造を構成することが出来る。

【0178】例えば、本実施例に示すようなCMOS型の薄膜回路は、アクティブマトリクス型の液晶表示装置やアクティブマトリクス型のEL表示装置に利用するこ

とができる。

【0179】なお、図8(E)、図9(B)、図9(C)に示す不純物イオンの注入工程において、活性層がゲイト絶縁膜を構成する酸化珪素膜35で覆われていることは重要である。

【0180】このような状態で不純物イオンの注入を行うと、活性層表面の荒れや汚染を抑制することができる。このことは、歩留りや得られる装置の信頼性を高めることに大きな寄与を果たす。

【0181】【実施例7】本実施例では、実施例1で示す結晶性珪素膜をシリコンウェハ上に形成する例を示す。この場合、シリコンウェハ表面に絶縁層を設ける必要があるが、通常熱酸化膜を利用することが多い。

【0182】熱処理の温度範囲は700~1300℃が一般的であり、所望の酸化膜厚によって処理時間は変化する。

【0183】また、シリコンウェハの熱酸化は通常O₂、O₂-H₂O、H₂O、O₂-H₂燃焼などの雰囲気で行なわれる。また、HClやCl₂などのハロゲン元素を添加した雰囲気での酸化も広く実用化されている。

【0184】シリコンウェハはICなどの半導体デバイスに欠かせない基体の一つであり、ウェハ上に様々な半導体素子を形成する技術が生み出されている。

【0185】本実施例によれば、単結晶に匹敵する結晶性を備えた結晶性珪素膜を従来のシリコンウェハを用いた技術に組み合わせ、結晶性珪素膜の応用範囲をさらに拡大することができる。

【0186】【実施例8】本実施例は実施例7の一例としてシリコンウェハ上に形成されたICの上に、本発明による結晶性珪素膜を用いたTFTを形成する例を示す。製造プロセスの概要を図11を用いて説明する。

【0187】図11(A)に示すのは通常のプロセスによりシリコンウェハ上に形成されたMOS-FETである。71で示されるのはシリコン基板、72、73は素子同士を分離するための絶縁膜であり、一般的には熱酸化膜が用いられる。

【0188】また、74はソース領域、75はドレイン領域であり、シリコン基板71に一導電性を付与する不純物イオンを注入した後、拡散工程を経て形成される。シリコン基板71がP型ならN型を付与する不純物(リン)を、シリコン基板71がN型ならP型を付与する不純物(ボロン)を注入する。

【0189】また、76で示される領域はチャネル形成領域である。この領域のシリコン表面にはイオン注入後の拡散工程で形成される熱酸化膜の一部が膜厚制御を行なって残され、ゲイト絶縁膜として機能する。77は一導電性を有する多結晶珪素膜でなるゲイト電極である。

【0190】ゲイト電極77は酸化珪素膜等の絶縁膜78で覆われ、ソース電極79やドレイン電極80と電気的に短絡しない構成となっている。(図11(A))

【0191】図11(A)の状態が得られたら、層間絶縁膜81を成膜する。この層間絶縁膜としては酸化珪素膜、窒化珪素膜等が用いられる。層間絶縁膜81を成膜したら、コンタクトホールを形成してドレイン電極からの取り出し配線82を形成する。(図11(B))

【0192】図11(B)の状態を得たら、CMP(ケミカル・メカニカル・ポリッシング)技術などにより研磨を施し、露出表面の平坦化を行なう。この工程により、層間絶縁膜81は平坦化され、取り出し配線82の凸部は無くなる。

【0193】図11(C)において83は平坦化された層間絶縁膜、84はその平坦面である。また、85は凸部の無くなった取り出し配線であり、それと接続して取り出し配線86が形成される。

【0194】次に、層間絶縁膜87を成膜する。この層間絶縁膜87の上に本発明を適用することができる。即ち、層間絶縁膜87上にモノドメイン領域を用いて形成した活性層を有する薄膜トランジスタを形成する。

【0195】まず、実施例1に従ってモノドメイン領域でなる活性層88を形成する。そして、ゲイト絶縁膜89を成膜し、次にゲイト電極90を形成する。そして、一導電性を付与する不純物を活性層に注入する。

【0196】不純物注入が終了したら後に低濃度不純物領域を形成するためのサイドウォール91を形成する。サイドウォール91の形成方法は次の工程に従う。

【0197】まず、ゲイト電極90を覆って酸化珪素膜等でなる絶縁膜(図示せず)をゲイト電極90の膜厚以上に形成する。次に、ドライエッチング法による異方性エッチングを行い、成膜した絶縁膜を除去すると、ゲイト電極90の側面のみに絶縁膜が残存する。これがサイドウォール91となる。

【0198】この状態で再度不純物注入を行う。すると、2度目に不純物を注入された領域はソース領域およびドレイン領域となり、サイドウォールで遮蔽された領域はソース領域およびドレイン領域と比較して低濃度の不純物領域となる。不純物注入後は加熱処理やレーザー光の照射等により不純物の活性化を行う。

【0199】以上の様にして、活性層を構成したら層間絶縁膜92として酸化珪素膜または窒化珪素膜を成膜し、コンタクトホールを形成してソース電極93およびドレイン電極94を形成する。

【0200】以上、本実施例で示す様にIC上に本発明を応用することで、図11(D)のような三次元構造でなる集積回路を構成することが可能である。本発明によれば、ICの上方に形成されるTFTは単結晶上に形成したTFTに匹敵する性能を有するため、IC本来の性能を損なわず、従来以上の高密度集積化回路を実現することができる。

【実施例9】本実施例では、本発明を応用して作製したTFTをDRAM(Dynamic Random Access Memory)に

応用した例について説明する。説明には図12を用いることとする。

【0201】DRAMは記憶する情報を電荷としてコンデンサに蓄える形式のメモリである。コンデンサへの情報としての電荷の出し入れは、コンデンサに直列に接続されたTFTによって制御される。DRAMの1個のメモリセルを構成するTFTとコンデンサの回路を図12(A)に示す。

【0202】ワード線1201によってゲイト信号を与えられると、1203で示されるTFTは導通状態となる。この状態でビット線1202側からコンデンサ1204に電荷が充電されて情報を読み込んだり、充電したコンデンサから電荷を取り出して情報を読みだしたりする。

【0203】DRAMの断面構造を図12(B)に示す。1205で示されるのは、石英基板もしくはシリコン基板でなる基体である。シリコン基板であれば、所謂SOI構造を構成することができる。

【0204】上記基体1205上には下地膜として酸化珪素膜1206が成膜され、その上には本発明を応用したTFTが作製される。なお、基体1205がシリコン基板であれば、下地膜1206として熱酸化膜を用いることもできる。また、1207は実施例1に従って形成されたモノドメイン領域からなる活性層である。

【0205】活性層1207はゲイト絶縁膜1208で覆われ、その上にはゲイト電極1209が形成される。そして、その上に層間絶縁膜1210が積層された後、ソース電極1211が形成される。このソース電極1211の形成と同時にビット線1202および1212で示される電極が形成される。また、1213は絶縁膜でなる保護膜である。

【0206】この電極1212は固定電位を保ち、その下方に存在する活性層のドレイン領域との間にコンデンサ1214を形成する。即ち、このコンデンサに蓄積された電荷をTFTにより書き込んだり、読み出したりすることで記憶素子としての機能を有することになる。

【0207】DRAMの特徴は1個のメモリを構成する素子数がTFTとコンデンサだけで非常に少ないので、高集積密度の大規模メモリを構成するのに適している。また、価格も低く抑えられるので、現在最も大量に使用されている。

【0208】例えば、シリコン基板上に本発明を応用したSOI構造を形成した場合、接合面積が小さいためTFTのリーク(漏洩)電流を小さく抑えることが出来る。このことはデータ保持時間に大きく寄与する。

【0209】また、SOI基板上にDRAMセルを形成した場合の特徴として蓄積容量を小さく設定することができるため、低電圧での動作を可能とすることができる。

【0210】〔実施例10〕本実施例では、本発明を応

用して作製したTFTをSRAM(Static Random Access Memory)に応用した例について説明する。説明には図13を用いることとする。

【0211】SRAMはフリップフロップ等の双安定回路を記憶素子に用いたメモリであって、双安定回路のON-OFFあるいはOFF-ONの2安定状態に対応して2進情報値(0または1)を記憶するものである。電源の供給がある限り記憶が保持される点で有利である。

【0212】記憶回路はN-MOSやC-MOSで構成される。図13(A)に示すSRAMの回路は受動負荷素子に高抵抗を用いた回路である。

【0213】1301で示されるのはワード線であり、1302はビット線である。1303は高抵抗で構成される負荷素子であり、1304で示されるような2組のドライバトランジスタと1305で示されるような2組のアクセストランジスタとでSRAMが構成される。

【0214】TFTの断面構造を図13(B)に示す。石英基板もしくはシリコン基板でなる基体1306上に下地膜として酸化珪素膜1307を成膜し、その上に本発明を応用したTFTを作製することができる。1308は実施例1に従って形成されたモノドメイン領域からなる活性層である。

【0215】活性層1308はゲイト絶縁膜1309で覆われ、その上にはゲイト電極1310が形成される。そして、その上に層間絶縁膜1311が積層された後、ソース電極1312が形成される。このソース電極1312の形成と同時にビット線1302およびドレイン電極1313が形成される。

【0216】その上には再び層間絶縁膜1314が積層され、次に高抵抗負荷としてポリシリコン膜1315が形成される。1316は絶縁膜でなる保護膜である。

【0217】以上のような構成でなるSRAMの特徴は、高速動作が可能で、信頼性が高くシステムへの組み込みが容易なことなどである。

【0218】〔実施例11〕本実施例では、実施例3の半導体装置および実施例6のCMOS構造を用いて同一基体上にアクティブマトリクス領域とこのアクティブマトリクス領域を駆動する周辺駆動回路とを集積化した例を示す。

【0219】集積化されたアクティブマトリクス型の液晶表示装置を構成する一方の基体は以下のような構成を有している。即ち、アクティブマトリクス領域には、マトリクス状に配置された画素のそれぞれにスイッチング用の薄膜トランジスタが少なくとも一つ配置され、このアクティブマトリクス領域を駆動するための周辺回路がアクティブマトリクス領域の周囲に配置されている。そしてこれらの回路は全て1枚のガラス基板(または、石英基板やシリコン基板でもよい)上に集積化されている。

【0220】このような構成に本明細書で開示する発明を利用すると、単結晶上に形成したMOS-FETに匹

敵する性能を有する薄膜トランジスタでもってアクティブマトリクス領域と周辺回路とを構成することができる。

【0221】即ち、図4で示す薄膜トランジスタでもってアクティブマトリクス領域の画素TFTを構成し、図8～図10で示すCMOS構成でもって周辺回路を構成する。

【0222】アクティブマトリクス領域に配置される薄膜トランジスタは、画素電極に保持された電荷を所定の時間でもって維持する必要から、そのオフ電流値を極力小さくすることが望まれる。

【0223】本発明による薄膜トランジスタはその活性層がモノドメイン領域で形成されているため、オフ電流が優先的に流れるパス（電流経路）となりうる結晶粒界が実質的に存在しない。従って、オフ電流の小さい薄膜トランジスタを配置することが可能である。

【0224】一方で周辺駆動回路はCMOS回路が多用される。そしてその特性を高いものとするためには、CMOS回路を構成するNチャネル型の薄膜トランジスタとPチャネル型の薄膜トランジスタとの特性を極力そろえることが必要とされる。

【0225】このような目的のためには、実施例6（図8～図10参照）に示したようなCMOS構造が最適なものとなる。

【0226】このようにしてそれぞれの回路に好ましい特性を有した構成でなる集積化されたアクティブマトリクス型の液晶表示装置を得ることができる。

【0227】〔実施例12〕本実施例では実施例3においてゲイト絶縁膜の形成工程を異なるものとした場合の例について説明する。

【0228】まず、実施例1と同様の工程を経てモノドメイン領域を含む半導体薄膜を形成し、次いでモノドメイン領域のみを選択的に利用して半導体装置の活性層を形成する。

【0229】次に、活性層を覆う様にして200～1500Å（本実施例では800Å）の厚さの珪素を主成分とする絶縁膜（本実施例では酸化珪素膜）をCVD法またはPVD法に代表される気相法により成膜する。この時、酸化珪素膜の膜厚は最終的な絶縁耐圧を考慮して決定すれば良い。また、酸化珪素膜の代わりに酸化窒化珪素膜や窒化珪素膜を用いることもできる。

【0230】酸化珪素膜の成膜が終了したら、ハロゲン元素を含む雰囲気における加熱処理を行う。この加熱処理の最大の目的は活性層中に残存するニッケル等の金属残存物をゲッタリング除去することにある。この加熱処理は600～1100℃の温度範囲で行うことができるが、十分なゲッタリング効果を得るためには700℃を超える温度（好ましくは800～1000℃）で行うことが望ましい。

【0231】なお、基板としてガラス基板を用いている場合には耐熱性を考慮して600～650℃で行う必要があ

る。また、基板として石英基板等の耐熱性の高い材料を用いる場合にはその上限温度は1100℃（好ましくは1000℃）程度まで上げることができる。

【0232】本実施例では基板として石英基板を用い、上記加熱処理を酸素に対して0.5～10%（本実施例では3%）の塩化水素（HCl）を含有した雰囲気において行う。HCl濃度を上記濃度以上とすると結晶性珪素膜の膜表面が荒れてしまう。また、この時、処理温度は950℃とし、処理時間は0.5hrとする。

【0233】なお、ハロゲン元素を含む雰囲気を形成するには、酸素雰囲気中にHCl、HF、HBr、Cl₂、NF₃、F₂、Br₂から選ばれた一種または複数種類のガスを添加すれば良い。

【0234】この工程の結果、ハロゲン元素による金属元素のゲッタリング作用が働き、活性層中に含まれるニッケルが 1×10^{17} atoms/cm³以下（好ましくは 1×10^{16} atoms/cm³以下、さらに好ましくはスピン密度以下）にまでゲッタリング除去される。なお、上記濃度はSIMS（質量二次分析）の測定結果から得られる測定値である。

【0235】また、活性層と前述の酸化珪素膜との界面においては熱酸化反応が進行し、200Å程度の熱酸化膜が形成される。また、その時、活性層の最終的な膜厚が200～300Å（代表的には250Å）となる様に設定しておくことでオフ電流を低減する上で効果的である。

【0236】なお、本実施例では上記ハロゲン元素を含む雰囲気における加熱処理に引き続いて窒素雰囲気中、950℃1hr程度の加熱処理を施すことで熱酸化膜および珪素を主成分とする絶縁膜の膜質を向上させている。

【0237】ところでニッケルは活性層を構成する結晶性珪素膜の結晶粒界に偏析していると考えられるが、除去されることで結晶粒界には未結合手が多数発生する。この多数の未結合手は950℃という加熱処理によって互いに再結合してトラップ準位等の少ない結晶粒界を形成する。

【0238】また、ハロゲン元素を含む雰囲気における加熱処理を施した結果、活性層とゲイト絶縁膜との界面付近にはハロゲン元素が高濃度に残留する。SIMS測定によれば $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20}$ atoms/cm³の濃度で存在する。

【0239】さらに、活性層と前述の酸化珪素膜との界面に形成された熱酸化膜は、前記酸化珪素膜と共にゲイト絶縁膜を構成する。この時、熱酸化膜が形成される際に活性層界面の欠陥準位や格子間シリコン原子等を減少させるため、活性層とゲイト絶縁膜との界面状態は非常に優れたものとなる。

【0240】以上の様に、本実施例に示す加熱処理を行うことでニッケル等の金属元素を低減することができる。ニッケル等の金属元素を低減することは半導体装置としての信頼性を向上させる上で非常に重要である。ま

た、活性層の結晶状態を改善し、さらに界面状態の良好なゲイト絶縁膜を形成することができる。

【0241】以上の結果、優れた電気特性と高い信頼性を有する半導体装置を実現することが可能となる。

【0242】〔実施例13〕本実施例は活性層とゲイト絶縁膜との界面状態を改善することに注目した場合の例である。特に、基板としてガラス基板を用いる場合において効果を発揮する技術である。

【0243】まず、実施例1と同様の工程を経てモノドメイン領域を含む半導体薄膜を形成し、次いでモノドメイン領域のみを選択的に利用して半導体装置の活性層を形成する。そして、実施例12と同様に200～1500Åの厚さの酸化珪素膜をCVD法またはPVD法により成膜する。

【0244】この状態で500～700℃（代表的には640～650℃）の加熱処理を行う。この温度範囲はガラス基板に歪や反りを生ずることなく熱酸化膜を形成するために設定される温度である。また、この加熱処理は酸素のみの雰囲気でも良いし、ハロゲン元素を含む雰囲気であっても良い。また、雰囲気中に水蒸気を含むウェット雰囲気とすることもできる。

【0245】本実施例の条件で加熱処理を行う場合、0.5～2hr程度も処理すれば数十Å未満（例えば10～90Å）の熱酸化膜が形成される。そして、熱酸化膜の成長はこの程度の膜厚にほぼ収束する。

【0246】本発明者らの知見によると、活性層およびゲイト絶縁膜の極界面付近（界面から活性層側およびゲイト絶縁膜側に向かって10～30Å程度の領域）に固定電荷や欠陥準位等が集中するため、この領域が活性層とゲイト絶縁膜との界面状態を決定するといつて過言ではない。

【0247】従って、活性層とゲイト絶縁膜との界面状態を良好なものとするには、活性層界面の僅か10～30Åの領域を熱酸化する（活性層が10～30Å減じ、新たに20～60Åの熱酸化膜が形成される）ことで極界面近傍の固定電荷や欠陥準位を消滅させれば良いのである。換言すれば、良好な界面状態を実現するためには僅か数十Å未満の熱酸化膜が形成できれば十分なのである。

【0248】本発明に対して本実施例の様な熱酸化工程を組み込むことで、ガラス基板等の様な耐熱性の弱い基板上にも優れた特性を有する半導体装置を作製することが可能となる。

【0249】〔実施例14〕本実施例ではゲイト電極として結晶性珪素膜（ポリシリコン膜）を利用した例を示す。説明には図15を用いる。

【0250】図15（A）において、1501はガラス基板、1502は下地膜、1503は実施例1に示す工程で得られたモノドメイン領域でなる活性層、1504はゲイト絶縁膜、1505は一導電性を付与したポリシリコン膜でなるゲイト電極である。

【0251】次に、この状態で活性層1503に対して一導電性を付与する不純物イオンの注入を行なう。そして、このイオン注入工程により不純物領域1506、1507が形成される。

【0252】不純物イオンの注入が終了したら、窒化珪素膜1508を0.5～1μmの厚さに成膜する。成膜方法は減圧熱CVD法、プラズマCVD法、スパッタ法のいずれであっても良い。また、窒化珪素膜以外に酸化珪素膜を用いても良い。

【0253】こうして図15（B）の状態が得られる。図15（B）の状態が得られたら、次に窒化珪素膜1508をエッチバック法によりエッチングして、ゲイト電極1505の側壁にのみ残す。こうして残された窒化珪素膜はサイドウォール1509として機能する。

【0254】この際、ゲイト絶縁膜1504はゲイト電極1505およびサイドウォール1509がマスクとなった領域以外が除去されて図15（C）に示す様な状態で残存する。

【0255】次に、図15（C）に示す状態で再び不純物イオンの注入を行なう。この時、ドーズ量は先程のイオン注入のドーズ量よりも高めとしておく。このイオン注入の際、サイドウォール1509の直下の領域1510、1511はイオン注入が行なわれないので、不純物イオンの濃度に変化はない。しかし、露出した領域1512、1513はさらに高濃度の不純物イオンが注入されることになる。

【0256】以上の様に2度目のイオン注入を経て、ソース領域1512、ドレイン領域1513およびソース／ドレイン領域よりも不純物濃度の低い低濃度不純物領域（LDD領域）1510、1511が形成される。なお、ゲイト電極1505の直下はアンドープな領域であり、チャネル形成領域1514となる。

【0257】以上の工程を経て図15（C）の状態が得られたら、300Åの厚さの図示しないチタン膜を成膜し、チタン膜とシリコン膜とを反応させる。そして、チタン膜を除去した後、ランプアニール等による加熱処理を行なうことでソース領域1512、ドレイン領域1513、ゲイト電極1505の露出表面にチタンシリサイド1515～1517を形成する。（図15（D））

【0258】なお、上記工程はチタン膜の代わりにタンタル膜、タングステン膜、モリブデン膜等を用いることも可能である。

【0259】次に、層間絶縁膜1518として酸化珪素膜を5000Åの厚さに成膜し、ソース配線1519、ドレイン配線1520、ゲイト配線1521を形成する。こうして図15（D）に示す構造のTFTが完成する。

【0260】本実施例で示す構造のTFTは、配線とTFTとの接続がチタンシリサイド1515～1517を介して行われるため、良好なオーミックコンタクトを実現することができる。

【0261】〔実施例15〕本明細書中における半導体装置とは、半導体を利用することで機能する装置全般を指しており、実施例11に示す様な構成でなるアクティブマトリクス型の電気光学装置（液晶表示装置、EL表示装置、EC表示装置等）およびその様な電気光学装置を組み込んだ応用製品をもその範疇に含むものとする。

【0262】本実施例では、その応用製品について図例を挙げて説明する。本発明を利用した半導体装置としてはTVカメラ、ヘッドマウントディスプレイ、カーナビゲーション、プロジェクション（フロント型とリア型がある）、ビデオカメラ、パーソナルコンピュータ等が挙げられる。簡単な説明を図16を用いて行う。

【0263】図16（A）はモバイルコンピュータであり、本体2001、カメラ部2002、受像部2003、操作スイッチ2004、表示装置2005で構成される。本発明は表示装置2005や装置内部に組み込まれる集積化回路等に対して適用される。

【0264】図16（B）はヘッドマウントディスプレイであり、本体2101、表示装置2102、バンド部2103で構成される。表示装置2102は比較的小型のサイズのものが2枚使用される。

【0265】図16（C）はカーナビゲーションであり、本体2101、表示装置2102、操作スイッチ2103、アンテナ2104で構成される。本発明は表示装置2102や装置内部の集積化回路等に対して適用できる。表示装置2202はモニターとして利用されるが、地図の表示が主な目的なので解像度の許容範囲は比較的小さいと言える。

【0266】図16（D）は携帯電話であり、本体2301、音声出力部2302、音声入力部2303、表示装置2304、操作スイッチ2305、アンテナ2306で構成される。本発明は表示装置2304や装置内部の集積化回路等に対して適用できる。

【0267】図16（E）はビデオカメラであり、本体2401、表示装置2402、音声入力部2403、操作スイッチ2404、バッテリー2405、受像部2406で構成される。本発明は表示装置2402や装置内部の集積化回路等に対して適用できる。

【0268】図16（F）はフロントプロジェクションであり、本体2501、光源2502、反射型表示装置2503、光学系（ビームスプリッターや偏光子等が含まれる）2504、スクリーン2505で構成される。スクリーン2505は会議や学会発表などのプレゼンテーションに利用される大画面スクリーンであるので、表示装置2503は高い解像度が要求される。

【0269】また、本実施例に示した電気光学装置以外にも、リアプロジェクションやハンディターミナルなどの携帯型情報端末機器に適用することができる。以上の様に、本発明の応用範囲は極めて広く、あらゆる分野の表示媒体に適用することが可能である。

【0270】

【発明の効果】本発明は意図的に結晶核となるサイトを形成して結晶粒径を制御できる点が大きな特徴である。そして、こうして形成される比較的大きな結晶粒径の結晶粒をレーザー光等の照射により単結晶化する点も大きな特徴である。

【0271】これら技術の効果として、表面に絶縁膜を有する基体上に実質的に単結晶と見なせるモノドメイン領域を形成することが実現できる。即ち、単結晶に匹敵する結晶性を有する結晶性珪素膜を用いて薄膜トランジスタ等の半導体装置の活性層を構成することが可能となる。

【0272】従って、公知の単結晶ウエハーを用いた集積回路に匹敵する性能を有した半導体回路を構築することが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】モノドメイン領域を有する半導体薄膜の形成工程を示す図

【図2】モノドメイン領域の構成を示す図

【図3】モノドメイン領域を有する半導体薄膜の形成工程を示す図

【図4】半導体装置の作製工程を示す図

【図5】SOI技術の問題点を示す図

【図6】モノドメイン領域の構成を示す図

【図7】モノドメイン領域に形成された活性層を示す図

【図8】半導体装置の作製工程を示す図

【図9】半導体装置の作製工程を示す図

【図10】半導体装置の作製工程を示す図

【図11】半導体装置の作製工程を示す図

【図12】DRAMの構成を示す図

【図13】SRAMの構成を示す図

【図14】人工石英ターゲットの成分表を示す図表

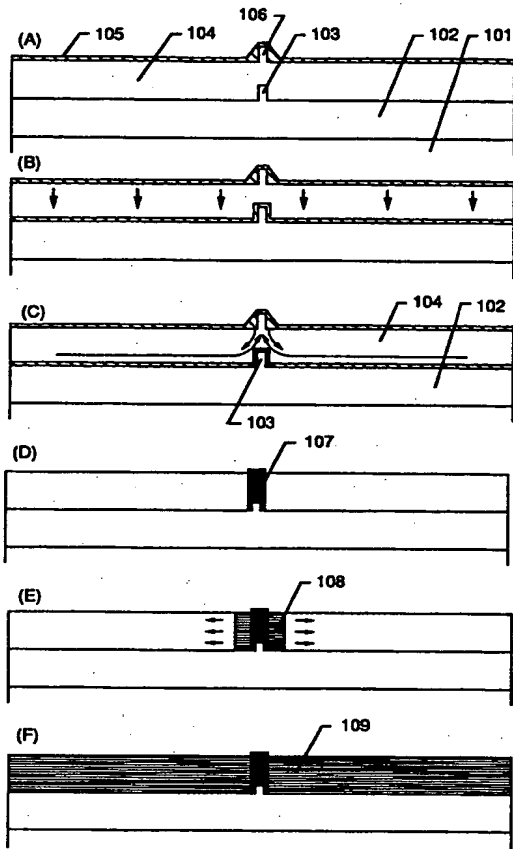
【図15】半導体装置の作製工程を示す図。

【図16】応用製品の例を説明するための図。

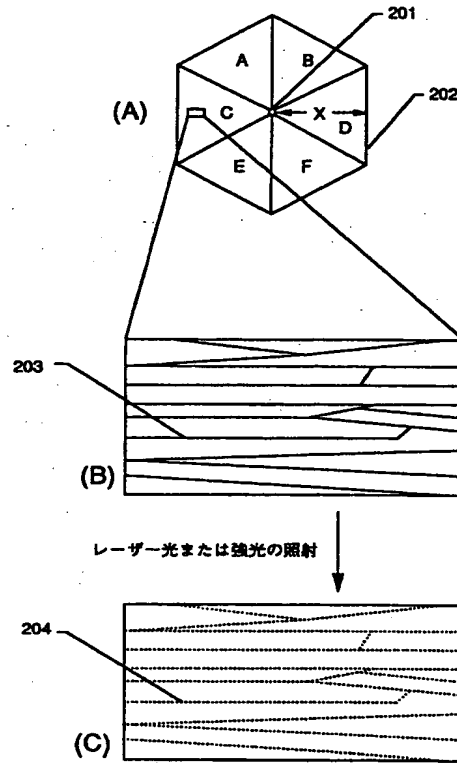
【符号の説明】

101	ガラス基板
102	酸化珪素膜
103	凹または凸パターン
104	非晶質珪素膜
105	ニッケル層
106	凹または凸部
107	縦成長領域
108	横成長領域
109	結晶性珪素膜
201	縦成長領域
202	横成長領域
203	結晶粒界
204	接合界面

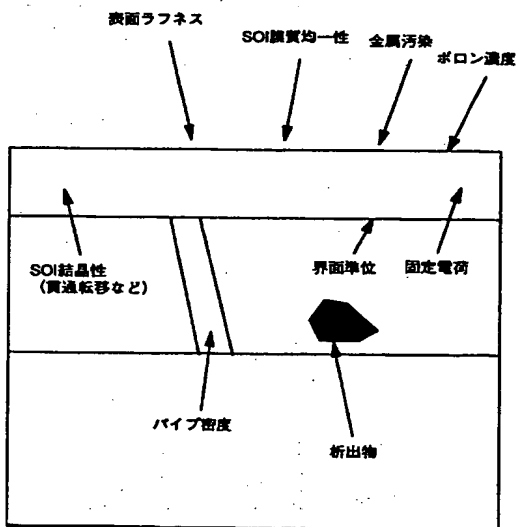
【図 1】



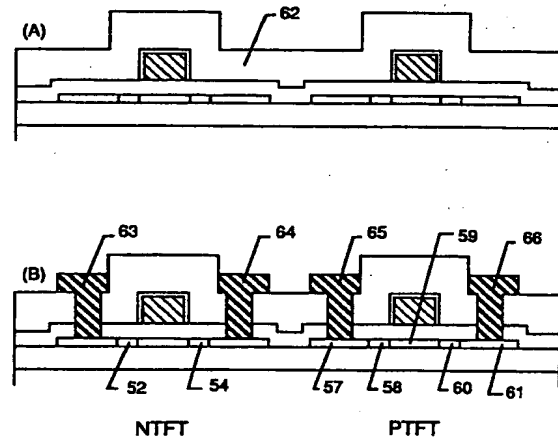
【図 2】



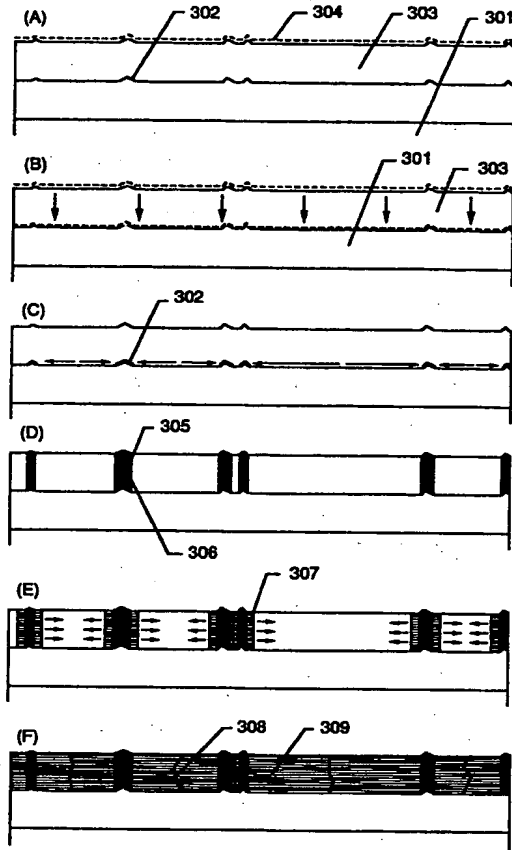
【図 5】



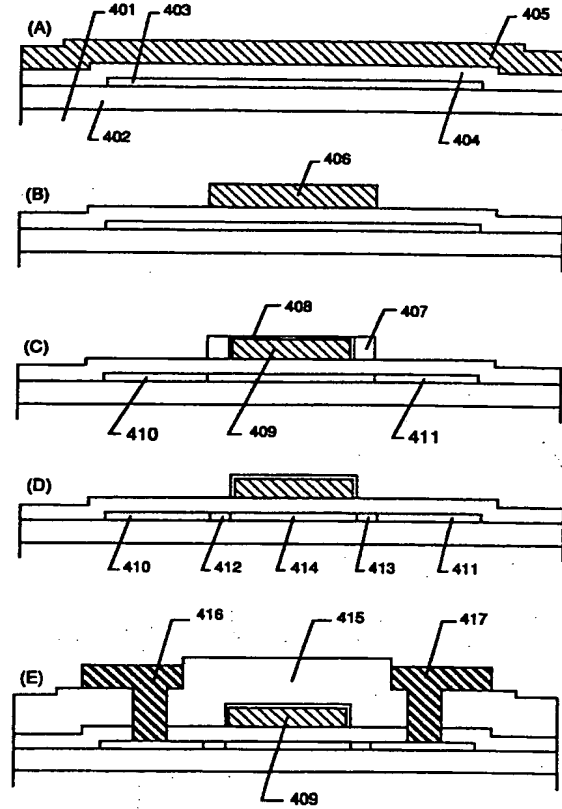
【図 10】



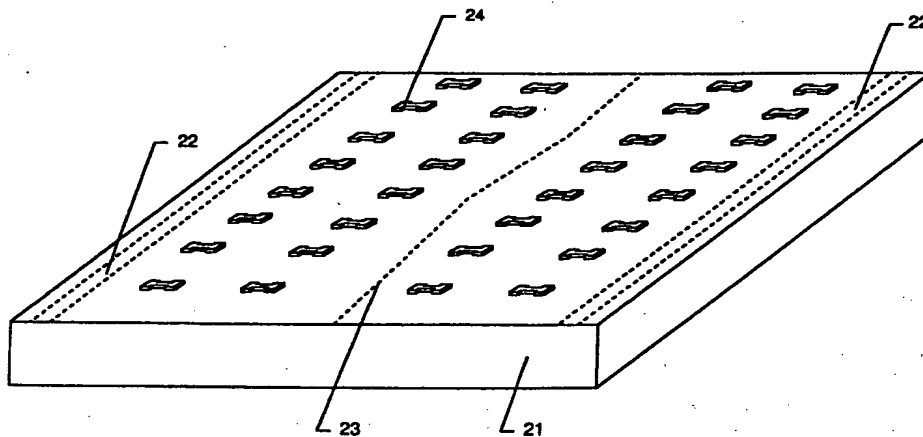
【図 3】



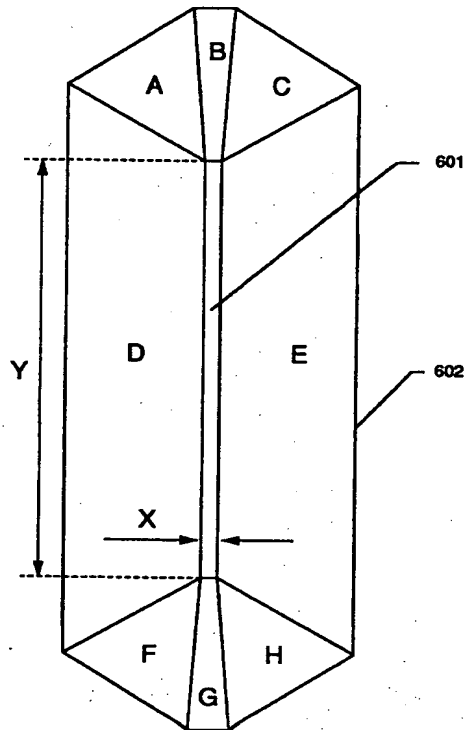
【図 4】



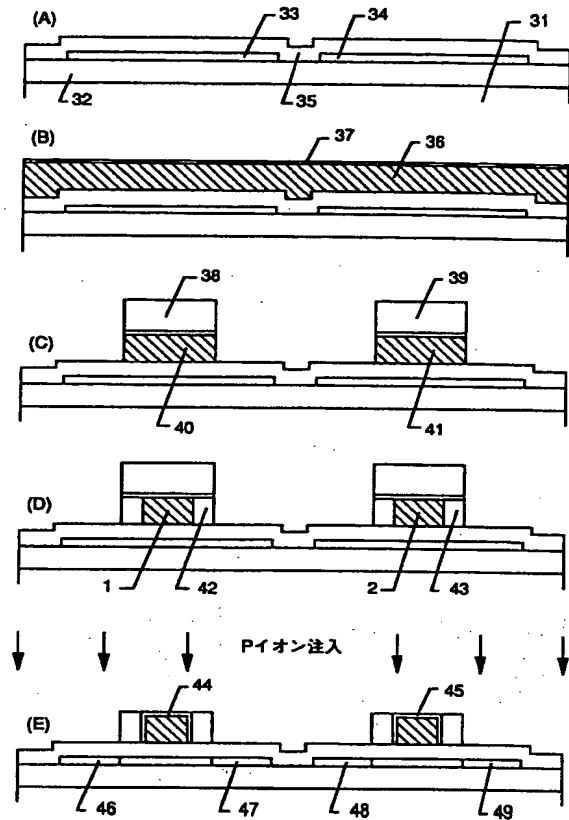
【図 7】



【図6】



【図8】



【図14】

元素	濃度(ppm)	元素	濃度(ppm)
Fe	0.045	Ca	0.16
Ni	0.016	Mn	<0.001
Na	>0.005	Al	0.004
K	>0.004	U ^{*2}	<0.000031
Ti ^{*1}	<0.05	Th ^{*2}	<0.00018
Mg	>0.005	F ^{*3}	310
Cu	0.009	Cl ^{*2}	<0.73
Cr	0.003	OH ^{*4}	ND

測定法：偏光ゼーマンフレイムレス原子吸光

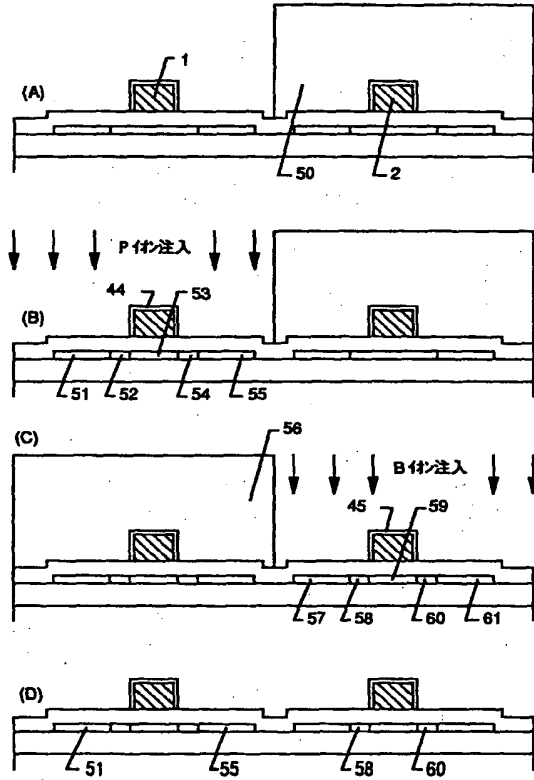
注) *1 ICP発光分析

*2 放射化分析

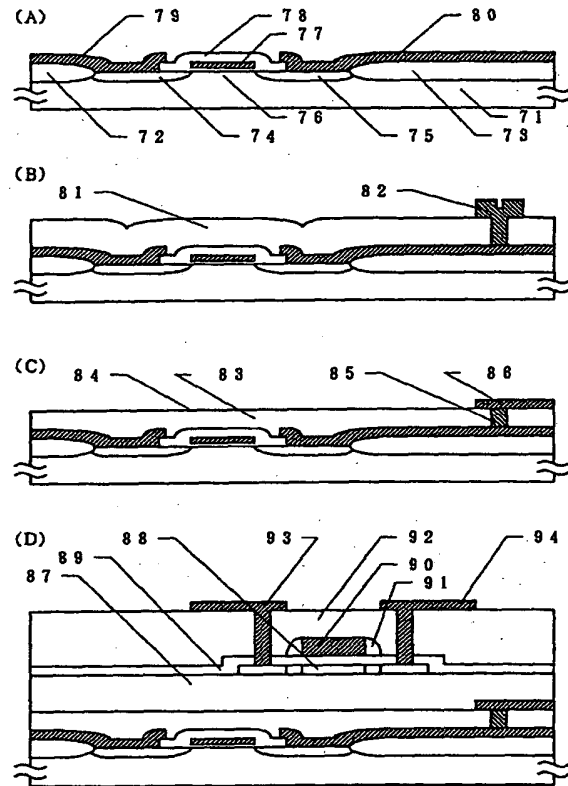
*3 EPMA

*4 赤外吸収

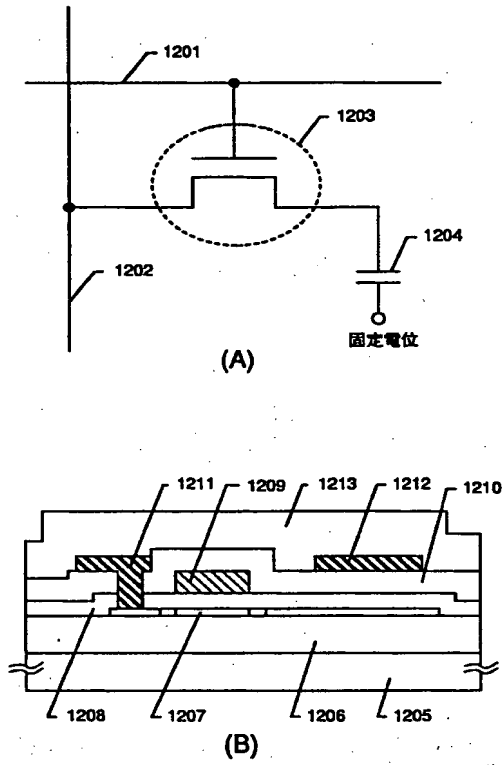
【図9】



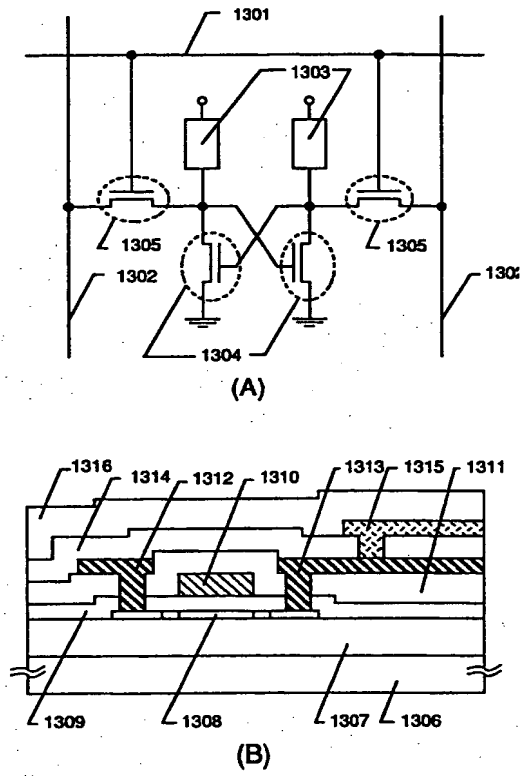
【図11】



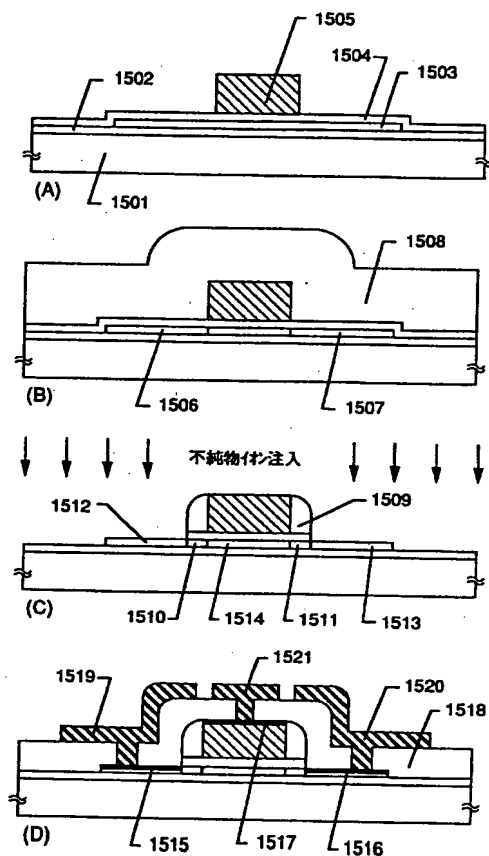
【図 12】



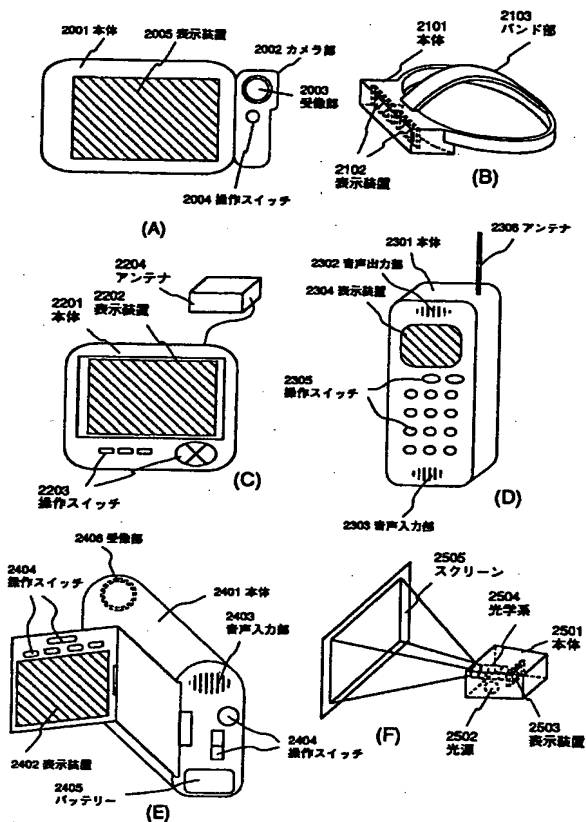
【図 13】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 福永 健司
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半
 導体エネルギー研究所内

